

STUDI PERBANDINGAN KRITERIA KERUNTUHAN UNTUK MENENTUKAN KUAT GESER BATUAN

Purwanto*

*) Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin

SARI: Kriteria keruntuhan telah banyak diteliti untuk menentukan kuat geser batuan seperti kriteria Mohr-Coulomb, teori Griffith, kriteria Patton, kriteria Barton, dan sebagainya. Penggunaan kriteria keruntuhan tersebut tergantung dari faktor yang mendukungnya, antara lain kondisi bidang diskontinu dan kekasaran bidang diskontinu. Penelitian ini akan mengambil conto berupa material beton yang dibuat menggunakan campuran semen dan pasir 1:20 dan 1:30 dengan variasi bidang diskontinu.

Hasil penting dari penelitian ini akan menunjukkan pengaruh kekasaran terhadap kuat geser dengan menggunakan kriteria Barton dibandingkan dengan kriteria Mohr-Coulomb.

Kata kunci: kriteria keruntuhan, Mohr-Coulomb, Barton

ABSTRACT: Many failure criteria have been researched to determine rock shear strength, such as Mohr-Coulomb, Griffith theory, Patton Criteria, Barton Criteria, etc. The application of failure criteria depends on the factor that support such as discontinue plan condition and roughness of discontinue. These research have been taken samples of concrete, it created using a mixture of cement and sand 1:20 and 1:30 with the field of discontinuous variation.

The important result of this research implies the effect of roughness on shear strength by Barton criteria compared to the Mohr-Coulomb criteria.

Keywords: failure criteria, Mohr-Coulomb, Barton

1. PENDAHULUAN

Kuat geser batuan merupakan perlawanan internal batuan per satuan luas terhadap tegangan yang bekerja sepanjang bidang geser dalam batuan tersebut yang dipengaruhi oleh karakteristik intrinsik berupa kohesi (c), sudut gesek dalam (ϕ), dan kekasaran permukaan batuan serta faktor eksternal berupa tegangan yang bekerja, keberadaan material pengisi, tekanan air pori, ukuran butir dan bidang diskontinu. Dalam menentukan kuat geser batuan telah diteliti berbagai kriteria keruntuhan seperti kriteria Mohr-Coulomb, teori Griffith, kriteria Patton, kriteria Barton, dan sebagainya. Penggunaan kriteria keruntuhan tersebut tergantung dari faktor yang mendukungnya, antara lain kondisi

bidang diskontinu dan kekasaran bidang diskontinu.

Dalam penelitian ini diteliti perbandingan antara kriteria Mohr-Coulomb dengan kriteria Barton untuk menentukan kuat geser material. Uji geser menggunakan beton berbentuk kubus dengan ukuran yang besar yaitu 100 cm x 100 cm x 60 cm, serta pengujian di laboratorium menggunakan conto batuan dengan ukuran yang relatif kecil berbentuk silinder berdiameter sekitar 5,4 cm. Pada setiap conto batuan yang diuji diambil sebanyak tiga spesimen.

Hasil penting dari penelitian ini menunjukkan pengaruh kekasaran terhadap kuat geser dengan menggunakan kriteria Barton dibandingkan dengan kriteria Mohr-Coulomb.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Sifat Fisik Batuan

Pengukuran sifat fisik batuan dimulai dengan pembuatan conto material yang terdiri dari dua jenis beton menggunakan semen dan pasir dengan perbandingan 1:20 dan 1:30. Sebagian besar prosedur yang dilakukan pada penentuan sifat fisik merupakan penimbangan. Berat conto yang ditimbang meliputi:

- Berat conto asli (*natural*): W_n
- Berat conto kering (sesudah dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan temperatur kurang lebih 90°C): W_o
- Berat conto jenuh (sesudah dijenuhkan dengan air selama 24 jam): W_w
- Berat conto jenuh tergantung di dalam air: W_s

Alat yang digunakan dalam uji sifat fisik ini meliputi: timbangan, eksikator, pompa vakum, oven dan ember berisi air.

2.2 Sifat Mekanik Batuan

Sifat mekanik yang ditentukan dalam penelitian ini hanya yang berhubungan dengan karakteristik geser batuan, antara lain adalah nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ) untuk masing-masing kelompok material, serta nilai kuat geser puncak (τ_p) dan karakteristik perpindahan (v) untuk masing-masing conto. Penentuan karakteristik geser ini dilakukan dengan cara uji geser langsung (*direct shear test*). Karena ada dua jenis conto yaitu conto berbentuk kubus dengan ukuran besar hingga $100\text{ cm} \times 100\text{ cm} \times 60\text{ cm}$ dan conto berbentuk silinder dengan diameter 54 mm , maka alat yang digunakan, preparasi conto dan prosedur uji yang dilakukan berbeda.

- Uji Skala Besar

Uji kuat geser menggunakan conto batuan dengan ukuran yang besar sehingga dibuat alat khusus yang diharapkan dapat digunakan untuk pengujian tersebut. Alat yang dibuat menggunakan sembilan unit piston sebagai gaya beban normal. Diameter masing-masing piston berukuran 8 cm , panjang *stroke* maksimal 15 cm dengan kapasitas maksimum masing-masing piston 30 ton . Dan untuk gaya geser digunakan dua unit piston, diameter setiap piston berukuran 17 cm , panjang *stroke* maksimal 30 cm dan dengan kemampuan masing-masing mencapai 35 ton .

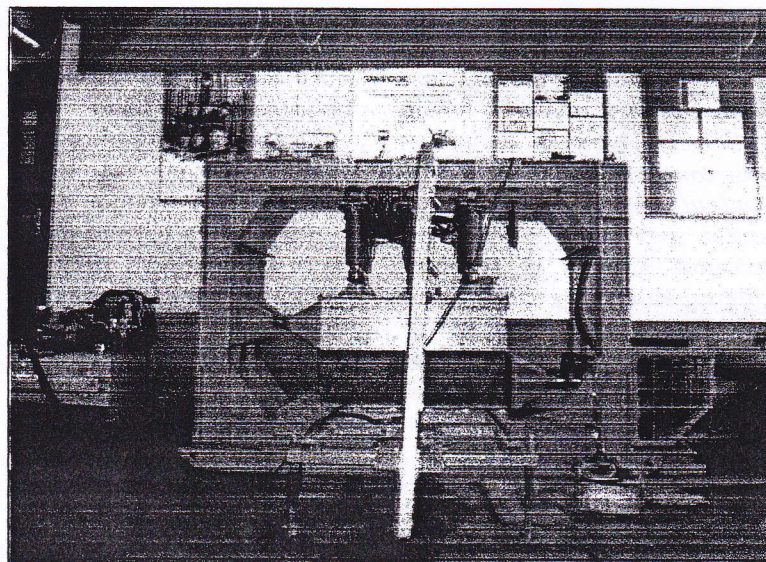
Alat ini dilengkapi dengan dua unit pompa tekan dan dua unit *force gauges*. Satu unit pompa tekan digunakan untuk menghasilkan tegangan normal dan satu unit pompa digunakan untuk menghasilkan tegangan geser yang kemudian menggunakan kopling dibuat menjadi dua untuk setiap piston geser sedangkan *force gauges* digunakan sebagai pengukur gaya yang diberikan, satu unit untuk pengukur gaya normal, dan satu unit untuk mengukur gaya geser. Motor yang digunakan untuk menghasilkan listrik berkemampuan 7.5 KW . Untuk mengukur *displacement* yang terjadi digunakan empat unit *dial gauge* untuk mengukur perpindahan vertikal, dan digunakan dua unit penggaris untuk mengukur perpindahan lateral.

Conto batuan yang digunakan berupa beton yang dibuat dari campuran semen, pasir dan air dengan perbandingan volume semen dan pasir $1 : 30$ dan $1 : 20$. Pada conto dengan perbandingan $1 : 30$ dengan ukuran $100\text{ cm} \times 100\text{ cm} \times 60\text{ cm}$, conto dibuat setengah bagian (ketinggian 30 cm) kemudian dilapisi koran yang ditusuk pada lapisan beton, setelah itu conto beton diteruskan hingga ketinggian conto mencapai 60 cm . Sedangkan pada conto dengan perbandingan $1:20$ dengan ukuran yang sama setelah setengah bagian, beton dimodifikasi memiliki *roughness* dengan kemiringan orde sebesar 3° dan orde II sebesar kurang lebih 2° . Setelah itu beton ditutup hingga ketinggian 60 cm .

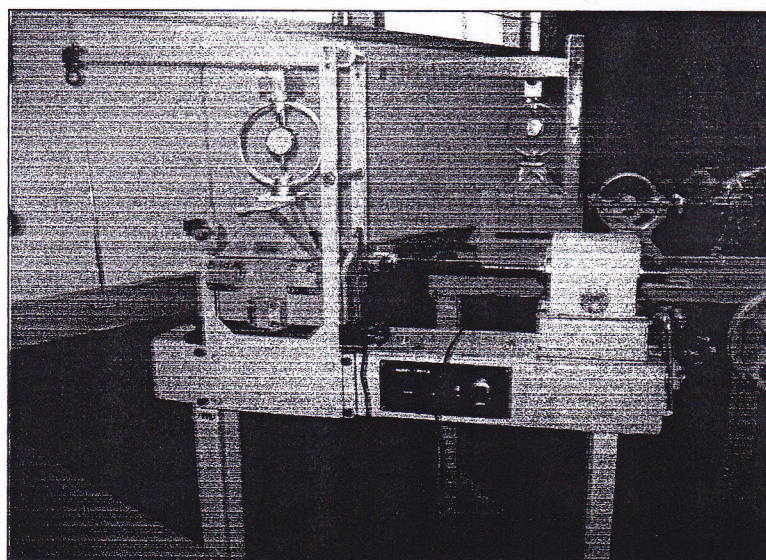
- Uji Laboratorium

Conto batuan untuk pengujian di laboratorium berdiameter sekitar 54 mm . Conto dibuat dengan menggunakan pipa paralon berdiameter 54 mm . Untuk conto beton $1 : 20$ terlebih dahulu dibuat cetakan untuk membuat undulasi menggunakan lilin.

Alat yang digunakan untuk conto silinder berdiameter 54 mm adalah *Portable Shear Machine*, yang dilengkapi dengan dua unit pompa tekan dan dua unit *force gauges*. Pada *Portable Shear Machine* terdapat tiga unit piston berkapasitas 10 ton , satu unit untuk menghasilkan tegangan normal yang konstan dan dua unit untuk menghasilkan tegangan geser dimana salah satu piston tersebut berfungsi untuk menggeser balik conto ke keadaan awal. Dua pompa tekan digunakan untuk menghasilkan tegangan normal dan tegangan geser, sedangkan *force gauges* digunakan sebagai pengukur gaya yang diberikan.



Gambar 1. Kerangka alat yang digunakan untuk uji geser conto besar



Gambar 2. Alat geser laboratorium yang digunakan

HASIL PENGUJIAN

uji yang dilakukan meliputi uji sifat fisik dan sifat mekanik. Untuk memudahkan maka setiap conto yang diuji diberikan kode sampel. Kode dari masing-masing conto material tersebut adalah untuk beton 1:30 kecil tanpa bidang diskontinyu (1:30 KU), untuk beton kecil dengan bidang diskontinyu rata berupa koran (1:30 BR), dan untuk beton kecil dengan bidang diskontinyu kasar berupa koran (1:30 KR),

untuk beton 1:20 kecil tanpa bidang diskontinyu (1:20 KU) dan untuk beton 1:20 kecil dengan bidang diskontinyu kasar (1:20 KK). Sedangkan untuk material uji berukuran besar dengan panjang x lebar x tinggi = 100 cm x 100 cm x 60 cm, kode dari masing-masing conto adalah: beton dengan bidang diskontinyu rata berupa koran (1:30 BR), dan untuk beton 1:20 dengan bidang diskontinyu kasar (1:20 BK).

3.1 Hasil Uji Sifat Fisik

Hasil-hasil uji sifat fisik conto material uji meliputi: bobot isi asli (*natural density*), bobot isi jenuh (*saturated density*), berat jenis, kadar air asli (*natural water content*), kadar air jenuh (*saturated water content*), derajat kejenuhan, porositas (*n*) dan angka pori (*void ratio*). Dari hasil pengujian tersebut (Tabel 1) terlihat bahwa beton yang digunakan sebagai material uji ini memiliki porositas yang sangat besar (lebih dari 60%), dimana beton dengan komposisi campuran 1:30 bersifat lebih *porus* dibandingkan beton 1:20. Dari hal tersebut terlihat bahwa lebih dari 60 % volume batuan merupakan rongga atau celah-celah kecil (*pre-existing cracks*) yang sangat mempengaruhi kuat geser batuan.

3.2 Hasil Uji Kuat Tekan Uniaksial

Pengujian kuat tekan uniaksial dilakukan pada material berukuran kecil dengan diameter 5,4 cm. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh

beberapa parameter kuat tekan uniaksial (Tabel 2).

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan uniaksial pada kedua jenis material uji, kedua jenis material ini tidak dapat digolongkan dalam jenis batuan dimana nilai kuat tekan uniaksialnya berada pada rentang kurang dari 0,25 MPa (ISRM, 1979 dalam Hustrulid, 2000). Nilai kuat tekan uniaksial pada conto material berukuran kecil dengan bidang diskontinuitas digunakan sebagai nilai *Joint wall Compressive Strength* (JCS) untuk kriteria Bar. Sedangkan penentuan nilai JCS kriteria Bar pada skala besar digunakan substitusi nilai dari pengukuran *Schmidt Hammer* ke dalam kurva atau menggunakan substitusi nilai pada persamaan (1), sehingga dapat diperoleh nilai JCS untuk conto dengan berat jenis kurang dari 20 kN/m³ (Tabel 3).

$$JCS = (1,508 R) - 5,189 \quad (1)$$

Dimana R = angka kekasaran *Schmidt*

Tabel 1. Hasil uji sifat fisik conto material uji

| No | Kode Conto | ρ_n (gr/cm ³) | ρ_d (gr/cm ³) | ρ_s (gr/cm ³) | W % | S % | n % | e |
|----|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|------|
| 1 | 1 : 20 | 1.66 | 1.24 | 1.84 | 33.68 | 69.31 | 60.19 | 1.51 |
| 2 | 1 : 30 | 2.01 | 1.46 | 2.13 | 37.65 | 82.05 | 66.95 | 2.03 |

Keterangan:

- ρ_n = bobot isi natural
- ρ_d = bobot isi kering
- ρ_s = bobot isi jenuh
- w = kandungan air natural
- S = derajat kejenuhan
- n = porositas
- e = angka pori

Tabel 2. Parameter-parameter hasil uji kuat tekan uniaksial

| MATERIAL UJI | CONTO 1 | | | CONTO 2 | | | RATA-RATA | | |
|--------------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|
| | σ_c | E | ν | σ_c | E | ν | σ_c | E | ν |
| | (MPa) | (MPa) | | (MPa) | (MPa) | | (MPa) | (MPa) | |
| 1:20-KK | 0.22 | 17.6 | 0.1 | 0.21 | 18.8 | 0.11 | 0.215 | 18.2 | 0.1 |
| 1:30-KR | 0.22 | 24.36 | 0.14 | 0.26 | 23.6 | 0.14 | 0.24 | 23.95 | 0.14 |

Tabel 3. Hasil uji kuat tekan permukaan bidang geser

| KODE CONTO | R_{max} | BERAT JENIS (kN/m^3) | JCS | |
|------------|-----------|-----------------------------|--------|---------------|
| | | | Grafis | Persamaan (1) |
| 1:20-BK | 13 | 20,1 | 17,5 | 14,42 |
| 1:30-BR | 8 | 16,6 | - | 6,88 |

Tabel 4. Data hasil pengujian kuat geser dan pengukuran penampang permukaan geser

| NO | Kode Conto | σ_n | τ (Mpa) | | JRC |
|----|------------|------------|--------------|----------|-----|
| | | (MPa) | Peak | Residual | |
| 1 | 1:20-KK | 0.09 | 0.25 | 0.18 | 11 |
| | | 0.17 | 0.35 | 0.23 | 13 |
| | | 0.26 | 0.48 | 0.37 | 15 |
| 2 | 1:30-KR | 0.08 | 0.14 | 0.11 | 5 |
| | | 0.17 | 0.24 | 0.20 | 7 |
| | | 0.27 | 0.34 | 0.28 | 9 |
| 3 | 1:20-BK | 0.06 | 0.17 | | 9 |
| | | 0.12 | 0.27 | | 11 |
| | | 0.19 | 0.32 | | 13 |
| 4 | 1:30-BR | 0.03 | 0.11 | | 3 |
| | | 0.09 | 0.15 | | 5 |

Hasil uji geser langsung (Tabel 4) diperoleh dari conto berukuran kecil berbentuk silinder berdiameter sekitar 5,4 cm. Nilai *Joint Roughness Coefficient* (JRC) diperoleh melalui pengukuran bentuk permukaan geser setelah material diuji kuat geser dan dilakukan hanya pada conto yang memiliki bidang diskontinu. Nilai JRC nantinya digunakan pada kriteria Barton.

1.4 Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb

Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb digunakan untuk menyederhanakan hubungan antara tegangan-tegangan yang bekerja pada batuan terhadap keruntuhan dengan memberikan hubungan antara kuat geser batuan dengan tegangan normal, kohesi dan sudut gesek dalam. Dari hasil pengujian kuat geser langsung yang dilakukan, baik pada skala kecil maupun pada skala besar diperoleh tegangan geser yang berbeda pada setiap kenaikan

tegangan normal yang diberikan. Dari hasil tersebut kemudian diplot ke dalam kurva selubung Mohr-Coulomb sehingga diperoleh nilai-nilai kohesi dan sudut gesek dalam seperti yang terdapat pada tabel 5.

Berdasarkan hasil pengujian geser langsung (Tabel 5), dapat dilihat bahwa nilai kuat geser pada material 1:20 dengan ukuran kecil utuh lebih rendah dibandingkan dengan kuat geser 1:20 kecil kasar. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh kekasaran pada bidang diskontinu yang dibuat pada material 1:20 dapat meningkatkan nilai kuat geser dari material.

Sedangkan pada material 1:30 kecil, kuat geser pada material utuh relatif lebih tinggi atau sama dengan kuat geser pada material dengan bidang diskontinu halus. Hal tersebut menandakan bahwa pada material dengan bidang diskontinu yang halus atau rata tidak mampu meningkatkan kuat geser dari material.

3.5 Kriteria Keruntuhan Barton

Kriteria Barton menggunakan beberapa parameter seperti sudut gesek dalam dasar (ϕ_b), koefisien kekasaran permukaan (JRC), dan nilai kuat tekan uniaksial material pengisi (JCS). Nilai sudut gesek dalam sisa (ϕ_r) pada batuan utuh digunakan sebagai nilai sudut gesek dasar (ϕ_b) (Tabel 6), koefisien kekasaran permukaan (JRC) diperoleh dengan memperkirakan secara visual melalui pengukuran topografi terhadap permukaan bidang patah pada material hasil uji dan mencocokkannya secara langsung dengan penampang kekasaran pada gambar 2.11, sedangkan pada material dengan ukuran kecil nilai kuat tekan uniaksial digunakan sebagai nilai kuat tekan uniaksial material pengisi (JCS).

Nilai tegangan geser berdasarkan kriteria Barton kemudian dibuat kurva kriteria

(Gambar 3 dan 4). Dari gambar ter terlihat bahwa kurva kriteria Barton material besar 1:20-BK beririsan dengan Mohr-Coulomb. Nilai kohesi seketika grafik tersebut adalah sebesar 0,11 MPa. material 1:30 terlihat bahwa material de ukuran besar masih berada di bawah Mohr-Coulomb, sehingga kita dapat me bahwa menurut kriteria Barton ter karakteristik permukaan material 1:30 halus tidak memberi pengaruh besar kekuatan geser batuan.

Pada conto material berukuran kecil (Gam dan 4) memperlihatkan kurva kriteria Ba berada jauh dari kurva Mohr-Coulomb. Ha menunjukkan bahwa pendekatan nilai melalui nilai UCS untuk conto dengan bid diskontinyu berskala kecil tidak da dilakukan.

Tabel 5. Hasil pengujian kuat geser langsung

| NO | Kode Conto | σ_n | τ (Mpa) | | Cohesion (Mpa) | | ϕ (°) | |
|----|------------|------------|--------------|----------|----------------|----------|------------|--------|
| | | (MPa) | Peak | Residual | Peak | Residual | Peak | Residu |
| 1 | 1:20-KU | 0.09 | 0.21 | 0.15 | 0.15 | 0.08 | 38.41 | 36.50 |
| | | 0.17 | 0.30 | 0.18 | | | | |
| | | 0.26 | 0.35 | 0.28 | | | | |
| 2 | 1:20-KK | 0.09 | 0.25 | 0.18 | 0.13 | 0.06 | 53.18 | 49.06 |
| | | 0.17 | 0.35 | 0.23 | | | | |
| | | 0.26 | 0.48 | 0.37 | | | | |
| 3 | 1:30-KU | 0.08 | 0.16 | 0.13 | 0.07 | 0.06 | 45.56 | 41.42 |
| | | 0.17 | 0.24 | 0.22 | | | | |
| | | 0.25 | 0.32 | 0.28 | | | | |
| 4 | 1:30-KR | 0.08 | 0.14 | 0.11 | 0.05 | 0.04 | 47.33 | 42.61 |
| | | 0.17 | 0.24 | 0.20 | | | | |
| | | 0.27 | 0.34 | 0.28 | | | | |
| 5 | 1:20-BK | 0.06 | 0.17 | | 0.11 | | 49.50 | |
| | | 0.12 | 0.27 | | | | | |
| | | 0.19 | 0.32 | | | | | |
| 6 | 1:30-BR | 0.03 | 0.11 | | 0.09 | | 30.33 | |
| | | 0.09 | 0.15 | | | | | |

Tabel 6. Nilai tegangan geser berdasarkan Barton, 1990

4. Dari gambar ters
kurva kriteria Barton
BK beririsan dengan k
lai kohesi seketika
sebesar 0,11 MPa. P
bahwa material den
berada di bawah k
ingga kita dapat me
kriteria Barton tern
kaan material 1:30 y
eri pengaruh besar p
an.

berukuran kecil (Gamb
kan kurva kriteria Bar
va Mohr-Coulomb. Hal
pendekatan nilai
untuk conto dengan bid
la kecil tidak da

| Kode Conto | JRC | JCS (MPa) | | BARTON | | |
|------------|-----|--------------|-------|--------|----------|------------|
| | | | | f^* | ϕb | $f+\phi b$ |
| 1:20-KU | | | | | | |
| 1:20-KK | 11 | 0.22 | 4.36 | | | 40.86 |
| | 13 | 0.22 | 1.28 | 36.50 | | 37.79 |
| | 15 | 0.22 | -1.22 | | | 35.28 |
| 1:30-KU | - | - | - | | | - |
| | - | - | - | | | - |
| | - | - | - | | | - |
| 1:30-KR | 5 | 0.24 | 2.32 | | | 43.75 |
| | 7 | 0.24 | 1.00 | 41.42 | | 42.42 |
| | 9 | 0.24 | -0.39 | | | 41.04 |
| 1:20-BK | 9 | 14.42 | 21.28 | | | 57.78 |
| | 11 | 14.42 | 22.70 | 36.50 | | 59.20 |
| | 13 | 14.42 | 24.54 | | | 61.04 |
| 1:30-BR | 3 | 6.88 | 7.03 | | | 48.46 |
| | 5 | 6.88 | 9.33 | 41.42 | | 50.76 |

terangan:

* Barton :

$$\tau = \sigma_n \tan \{ \phi b + JRC \log (JCS / \sigma_n) \}$$

$$\tau = \sigma_n \tan \{ \phi b + f \}$$

$$f = JRC \log (JCS / \sigma_n)$$

ϕ (°)

Peak Residu

38.41 36.50

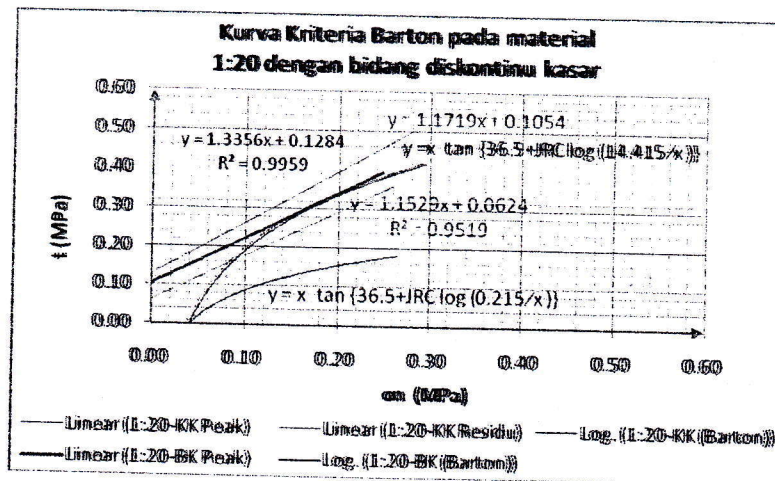
53.18 49.06

45.56 41.42

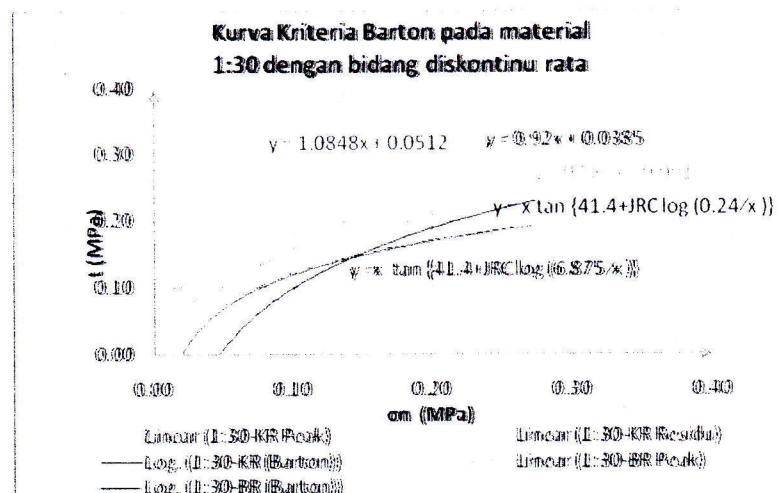
47.33 42.61

49.50

30.33



Gambar 3. Kurva kriteria Barton pada material 1:20 dengan bidang diskontinyu



Gambar 4. Kurva kriteria Barton pada material 1:30 dengan bidang diskontinyu

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian perbandingan kriteria keruntuhan, dapat diambil beberapa kesimpulan dari penelitian ini:

- Nilai kuat geser pada material kecil kasar 1 : 20 kriteria Barton berada di bawah nilai kriteria Mohr-Coulomb
- Nilai kuat geser pada material besar kasar 1:20 kriteria Barton beririsan dengan kriteria Mohr-Coulomb
- Pada material 1:30 halus nilai kuat geser berdasarkan kriteria Barton berada di

bawah kurva Mohr-Coulomb baik pada ukuran kecil maupun besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada Kepala Laboratorium Geomekanika ITB Dr.Ir.Suseno Kramadibrata, M.Sc dan Ridho K.Wattimena atas fasilitas dan bimbingan yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Barton, N., 1976, "Rock Mechanics Review-The Shear Strength of Rock and Rock Joint", International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences & Geomechanics Abstract, Vol. 1, Pergamon Press.
- Brown E.T., 1981, "Rock characterization testing and monitoring", ISRM Suggested Methods, Rock Engineering, Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Daroji, M., 2000, "Efek Skala Pada Kuat Geser Batuan Utuh dan Pengaruhnya Pada Selubung Kekuatan Mohr - Coulomb", Tugas Akhir, Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, ITB.
- Hoek, E., and Bray, J.W., 1981, "Rock Slope Engineering", Revised third edition, the Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Hoek, E., and Brown, E.T., 1980, "Underground Excavations in Rock", The Institution of Mining and Metallurgy, London.

- 124/x}}
1. **Abdelid, W.A., McCarter, M.K., Van Zyl, D.J.A., 2000, "Slopes Stability in Surface Mining", Society for mining, metallurgy and exploration, Inc, USA.**
2. **Jaeger, J., and Cook, N.G., 1976, Fundamental of Rock Mechanics, 2nd Edition, Chapman and Hall.**
3. **Ameyi, B., and Archambault, G., 1970, Simulation of shear behavior of a jointed rock mass, Proc. 11th Symp. Rock Mech., AIME, 105-125.**
4. **Brace, R.D., and Vutukuri, V.S., 1978, "Handbook on Mechanical Properties of Rock Volume III", Trans Tech Publications, Clausthal, Germany.**
5. **Vutukuri, V.S., Katsuyama K., 1994, "Introduction to Rock Mechanics", Industrial Publishing and Consulting, Tokyo.**

engan

Mohr-Coulomb baik p
rupun besar.

ASIH

penulis mengucap
alam-dalamnya ke
Geomekanika I
rata, M.Sc dan
atas fasilitas d
an.

ck and Rock Join
hanics Abstract, Vol.

gested Methods, Ro

uhnya Pada Selubu
hangan Fakultas Il

tion, the Institution

titution of Mining a